Arnaldoa 21 (2): 329 - 342, 2014 ISSN: 1815-8242

Efecto de diferentes concentraciones NPK y simbiosis con *Glomus intraradices*, sobre el contenido de proteínas solubles totales de *Plukenetia volubilis* L.

Effect of different NPK concentrations and *Glomus intraradices* symbiosis on the content of total soluble proteins in *Plukenetia volubilis* L.



J. E. Manuel Hidalgo Rodríguez
Departamento de Ciencias, Universidad Privada Antenor Orrego, Av. América Sur 3145, Urb. Monserrate, Trujillo, PERÚ.
jemhidalgor@gmail.com

Cynthia C. Ramos Otiniano & Mercedes E. Chaman Medina
Laboratorio de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo – Perú.
cynthia.ramos.otiniano@gmail.com & mechm@unitru.edu.pe

Resumen

Plukenetia volubilis L. "sacha inchi" es una Euphorbiaceae de importancia socioeconómica debido al alto valor nutricional de sus semillas. El uso de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) como *Glomus intraradices*, junto con la fertilización NPK, permite lograr incrementos en el contenido de nutrientes como proteínas. En el presente trabajo se midió el contenido foliar de proteínas solubles totales (PST) en plantas de *P. volubilis* inoculadas con *G. intraradices*, y tratadas con 4 concentraciones NPK (190-35-210, 60-90-120, 150-90-150 y 150-150-150). Las plantas de *P. volubilis* tratadas con NPK 60-90-120, y en simbiosis con *G. intraradices*, mostraron mayor contenido de PST y (65.42 ug/g muestra), encontrándose diferencias significativas (p<0.05) con respecto al control. Los tratamientos "NPK 150-150-150 + *G. intraradices*"; "La Molina + G. *intraradices*"; "NPK 150-90-150 + *G. intraradices*"; y "NPK 60-90-120" causaron valores intermedios. Mientras que, las plantas tratadas con "NPK 150-90-150"; "NPK 150-150-150"; y "La Molina", mostraron los menores valores promedio de proteínas solubles totales. Se concluye, que las diferentes concentraciones de N, P y K, y la interacción simbiótica con *G. intraradices* ocasionan variación en el contenido de proteínas solubles totales de *P. volubilis*, siendo las plantas tratadas con el hongo y "NPK 60-90-120", las que presentaron mayor contenido proteíco.

Palabras clave: Simbiosis, *Glomus intraradices*, proteínas solubles totales, *Plukenetia volubi*lis.

Abstract

Plukenetia volubilis L. "sacha inchi" is an Euphorbiaceae of great economic importance due to the high nutritional value of its seeds. It is known that the use of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) along with NPK fertilization, increase the levels of nutrients such as proteins in "sacha inchi" tissues. This work was aimed to determine the content of Total Soluble Proteins (TSP) in leaf tissue of ***P. volubilis*** inoculated with *Glomus intraradices*, and treated with 4 NPK levels (190-35-210, 60-90-120, 150-90-150 y 150-150-150). The treatment with 60-90-120 NPK levels and *G. intraradices*, significantly increased the TSP levels, inducing the higher value (65.42 ug/g tissue). Meanwhile, treatments that combined *G. intraradices*, and 150-150-150, 150-90-150, 60-90-120 NPK values, presented intermediate values of TSP. The lowest protein contents were induced by treatments that only used NPK fertilizors (150-90-150, 150-150-150, and "La Molina"). It was found that different NPK concentrations, along with the symbiotic interaction between *G. intraradices* and *P. volubilis* induce a variation on TSP levels, being the plants treated with minor levels of fertilizors (60-90-120 NPK) and the AMF, the ones in which higher protein levels were observed.

Keywords: Symbiosis, *Glomus intraradices*, total soluble proteins, *Plukenetia volubilis.*

Introducción

Plukenetia volubilis L. "sacha inchi" es una especie de la familia Euphorbiaceae, propia de la región amazónica, que presenta gran importancia socioeconómica gracias al alto valor nutricional de sus semillas, ricas en aceites poliinsaturados y en proteínas (Arévalo, 1999), y al gran potencial agroexportador de su cultivo, que se realiza tanto en la selva amazónica en lugares como San Martín, en la costa norte, dentro del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC (Villegas, 2009). Recientemente, el cultivo de esta oleaginosa viene siendo promovido por su fácil adaptación y, su elevada capacidad de producción de aceites, por lo que, se vienen buscando nuevas tecnologías para optimizar su producción.

El empleo de la fertilización como medio para mejorar el rendimiento de los cultivos, tiene sus orígenes en los inicios de la agricultura, hace más de 5000 años, y desde entonces, se ha venido desarrollando sustancialmente. Sin embargo, el gran

salto que se ha dado en el manejo de los fertilizantes, su función en el metabolismo y su influencia en la producción de los cultivos, comienza a partir de 1880 con los descubrimientos de las funciones de diferentes elementos en la fisiología vegetal. Los nuevos conocimientos generados, sentaron las bases para la utilización creciente de N, P y K, junto con otros elementos, con la finalidad de inducir mayores rendimientos en cultivos agrícolas y mejor desarrollo en plantas ornamentales (Finck, 1988).

Sumado al uso de la fertilización NPK, en los últimos años, se ha empezado a utilizar hongos micorrícicos arbusculares, entre los que está el zigomyceto *Glomus intraradices* Schenck & Smith, para mejorar la producción de los cultivos, lo que ha adquirido gran importancia en el ámbito científico y agrícola. Tal es así, desde que Mosse descubrió que las micorrizas funcionan como un eficiente sistema de absorción (Mosse, 1963), diversos investigadores como Clement (1995); Medina *et al.* (2000); Llonín & Medina (2002); Mohammad *et al.* (2004) y León (2006) han realizado trabajos en cultivos como "palma", "tomate", "trigo", y "yuca", en todos los cuales se ha observado que las interrelaciones Planta-Hongo-Fertilización NPK, maximizan el aprovechamiento de los nutrientes y, por ende la producción, en condiciones controladas y de campo, y además, de manera muy rentable (Díaz *et al.*, 2007).

Además, de incrementar la producción, estos organismos cumplen un efecto preponderante sobre la resistencia de las plantas y, sobre su capacidad de sobrevivir en condiciones adversas, lo que ha sido demostrado, por investigaciones que concluyen que las micorrizas pueden suprimir el desarrollo de patógenos (Baar, 2008), incrementar la tolerancia a nemátodos (Verdejo, 1990), proveer a las plantas de mayor capacidad de absorción (Purakayastha & Chhonkar, 2005), favorecer la resistencia al estrés hídrico (Al-Karaki *et al.*, 2003, incrementar la producción de clorofila (Ekanayake *et al.*, 2004), permitir que las plantas vivan en condiciones de acidez y con alta concentración de ciertos metales pesados (Cardoso & Kuyper, 2006) y hasta favorecer la utilización de ciertos cultivos en la recuperación de suelos (Novoa *et al.*, 2010). Todo lo cual, coloca a estos organismos fúngicos como los más promisorios en cuanto a mejoras en el campo agrícola.

Es sabido, que la cantidad de proteínas presente en los tejidos vegetales, constituye un indicador de desarrollo en las plantas, y los hongos micorrícicos junto con la fertilización NPK provocan incremento en la síntesis de estas proteínas. Así, lo demostró Roveda (2007), quién encontró que las plantas de "maíz" asociadas a *Glomus* sp. y con déficit de P, presentan aumento significativo en los niveles de proteínas, además, de presentar mayores tasas de crecimiento, nutrición mineral y concentración de azúcares en tejido. Las proteínas presentes en un tejido vegetal, son además una fuente importante de aminoácidos para otros organismos, hecho que tiene importancia en lo concerniente a nutrición animal, específicamente en usos pecuarios.

Dada la importancia que tiene la determinación de concentraciones N, P y K necesarias para lograr una cantidad de proteínas más alta en el tejido vegetal, así como, el establecimiento de una micorrización que permita mayor aprovechamiento de nutrientes en "sacha inchi", se planteó como objetivo, determinar el contenido de proteínas solubles

totales en el tejido foliar de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi" por acción de diferentes concentraciones de N, P y K, y de la interacción simbiótica con *Glomus intraradices*, a los 60 días de tratamiento.

Material y métodos

Material biológico

Plantas de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi" obtenidas a partir de semillas botánicas donadas por el Campo Experimental San José del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC-La Libertad, Perú; y esporas de *Glomus intraradices* obtenidas del producto comercial AEGIS Endo Gránulo, que fue donado por la empresa Agrotecnologías Naturales Sociedad Limitada–Madrid, España.

Las semillas fueron seleccionadas de acuerdo a su tamaño homogéneo y desinfectadas con hipoclorito de sodio comercial al 2% durante 10 minutos. Después, a estas semillas se les realizó varios lavados con agua destilada, para colocarlas en un sistema de germinación que consistió en 25 depósitos de plástico con papel toalla absorbente, sobre los que se colocaron 8 semillas en cada uno. El sistema de germinación así establecido se selló y se dejó en oscuridad con una humedad constante. Luego, se esperó un promedio de 20 días, al cabo de los cuales, empezó la germinación de las semillas, obteniéndose así las plántulas.

Las plántulas fueron trasplantadas individualmente a las macetas de plástico de 500 ml de capacidad, aquí, se realizó la inoculación con las esporas de *G. intraradices*, tal como se especifica en la parte de Tratamientos. Se utilizó como sustrato perlita, y se cubrió esta con papel de aluminio. Los frascos fueron colocados en el Invernadero del Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Trujillo, a una temperatura promedio de 25 ± 2°C y humedad relativa de 75 ± 2%. Se regó con solución nutritiva La Molina® durante una semana, para que las plantas se adapten a su nuevo medio, finalmente, se procedió a la aplicación de los tratamientos NPK.

Tratamientos

En el momento del trasplante, se tomaron en cuenta las plantas más homogéneas en su morfología, y al azar, se inoculó la mitad de ellas con *G. intraradices*. La inoculación de *P. volubilis* se realizó cubriendo superficialmente las raíces con aproximadamente 2 g del producto AEGIS Endo Gránulo (100 esporas/g de producto). Las raíces inoculadas fueron cubiertas inmediatamente con sustrato húmedo y se esperó 7 días para la adaptación de los vegetales. Las plántulas de 27 días (inoculadas y no inoculadas) más homogéneas en cuanto a morfología recibieron al azar los tratamientos con las diferentes soluciones NPK.

Los 8 tratamientos (incluidos los respectivos controles) fueron: La Molina, La Molina + *G. intraradices*, NPK 60-90-120, NPK 60-90-120 + *G. intraradices*, NPK 150-90-150, NPK 150-90-150 + *G. intraradices*, NPK 150-150-150 y NPK 150-150-150 + *G. intraradices*. Cada frasco fue asignado al azar a un tratamiento, de manera que el sistema final trabajado fue el que se muestra en el cuadro 1. Los sistemas fueron etiquetados debidamente y la evaluación se realizó a los 60 días de tratamiento.

Obtención de proteínas solubles totales

En cada repetición se pesó 1 g de tejido fresco de hojas escogidas al azar. Luego, estos tejidos se trituraron por separado, con nitrógeno líquido en un mortero de porcelana y se utilizó como buffer de

Cuadro 1: Concentraciones de NPK y "hongo" micorrícico arbuscular *G. intraradices* (HMA) aplicados a *P. volubilis* L. "sacha inchi" durante 60 días.

Tratamientos	NPK y HMA
T1	La Molina (190-35-210)
T2	NPK 60-90-120
T3	NPK 150-90-150
T4	NPK 150-150-150
T5	La Molina + G. intraradices
T6	NPK 60-90-120 + G. intraradices
T7	NPK 150-90-150 + G. intraradices
T8	NPK 150-150-150 + G. intraradices

extracción fosfato de sodio 50 mM y pH 7. El homogenizado obtenido se centrifugó a 10 000 g durante 10 minutos a 4°C; enseguida el sobrenadante fue utilizado para cuantificar proteínas.

Cuantificación de las proteínas

Se empleó el método de Bradford (1976), para lo cual, se tomaron 10 ul del extracto y se llevó el volumen final a 1 ml con el reactivo de Bradford, luego se midió la absorbancia en un espectrofotómetro Hewlett Packard 8452 a una longitud de onda de 595 nm. Para determinar la cantidad de proteínas, se utilizó BSA como estándar de la curva de calibración.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron ordenados en tablas y gráficos y analizados estadísticamente, para determinar si existen diferencias significativas entre tratamientos, mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación múltiple de medias, Tukey HSD.

Resultados

Las plantas de *P. volubilis* tratadas con diferentes concentraciones NPK y en simbiosis con el "hongo" micorrícico arbuscular *G. intraradices*, mostraron variación en el contenido de proteínas solubles totales (Fig. 1), encontrándose diferencias significativas ($p<0.05$) al realizarse la prueba ANOVA. Se observó el mayor contenido de proteínas solubles totales (65.42 ug/g muestra) cuando las plantas fueron tratadas con "NPK 60-90-120 + *G. intraradices*". En tanto que las plantas tratadas con "NPK 150-90-150", "NPK 150-150-150", y "La Molina", mostraron los menores valores promedio de proteínas solubles totales (45.73; 44.87; y 44.85 ug/g muestra, respectivamente). Las plantas que recibieron los tratamientos "NPK 150-150-150 + *G. intraradices*", "La Molina + *G. intraradices*", "NPK 150-90-150 + *G. intraradices*", y "NPK 60-90-120"; presentaron valores intermedios entre el mayor y los menores valores (47.07; 48.67; 54.61; y 56.03 ug/g muestra, respectivamente).

Al comparar los valores promedio de proteínas solubles totales en el tejido foliar de *P. volubilis* tratadas con diferentes concentraciones NPK y en simbiosis con el "hongo" micorrícico arbuscular *G. intraradices* mediante el test de rango múltiple de Tukey HSD (Fig. 1), se observaron diferencias entre el tratamiento "NPK 60-90-120 + *G. intraradices*" y los tratamientos "NPK 150-90-150", "NPK 150-150-150", y "La Molina". Sin

embargo, no se observaron diferencias entre los tratamientos "NPK 60-90-120 + *G. intraradices*", "NPK 150-150-150 + *G. intraradices*", "La Molina + *G. intraradices*", "NPK 150-90-150 + *G. intraradices*", y "NPK 60-90-120". Tampoco se encontraron diferencias entre los tratamientos "NPK 150-90-150", "NPK 150-150-150", "La Molina", "NPK 150-150-150 + *G. intraradices*", "La Molina + *G. intraradices*", "NPK 150-90-150 + *G. intraradices*", y "NPK 60-90-120".

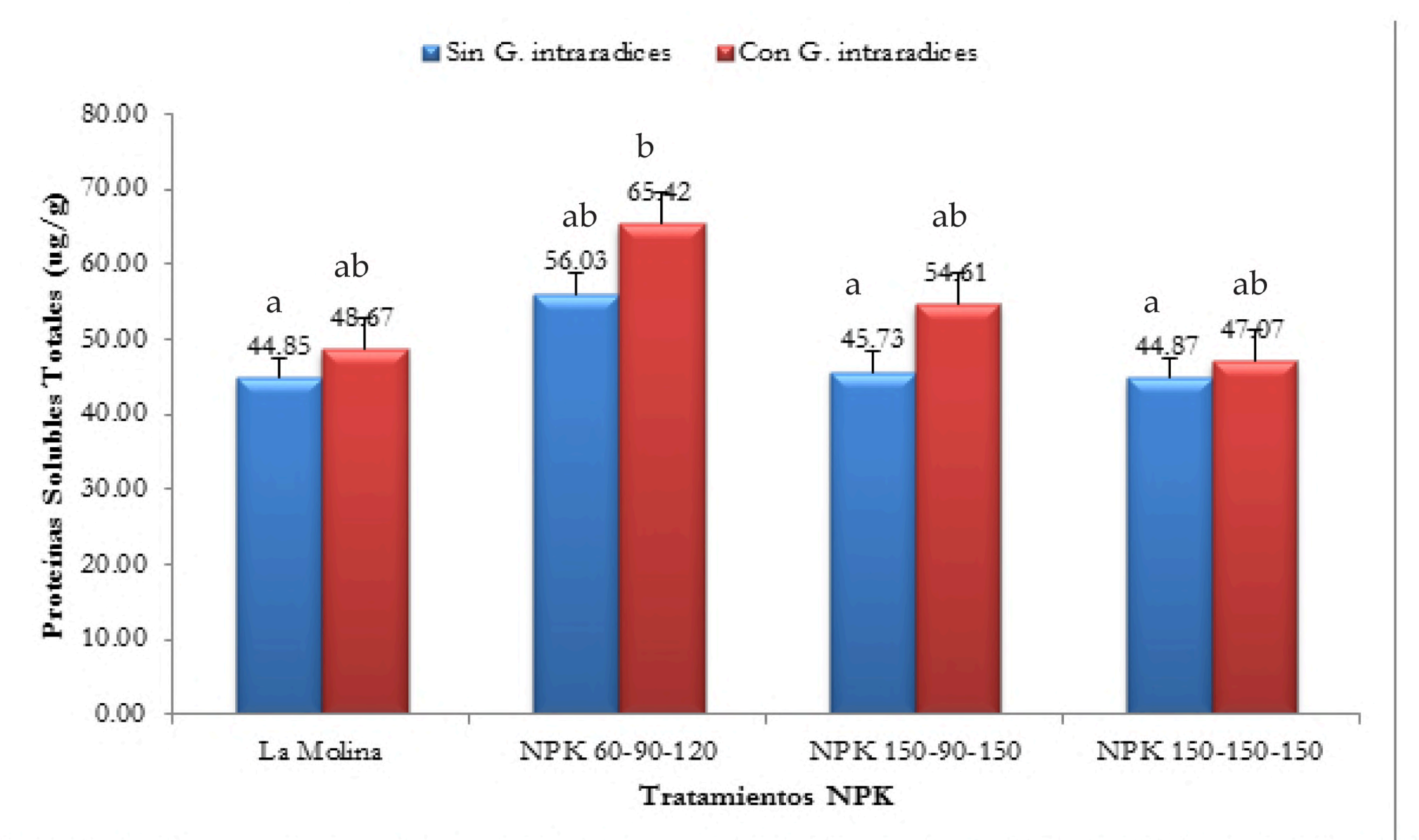


Fig. 1: Contenido promedio de proteínas solubles totales en el tejido foliar de plantas de *P. volubilis* "sacha inchi", tratadas con diferentes concentraciones NPK e inoculadas con *G. intraradices*, a los 60 días de tratamiento. Los promedios marcados con la misma letra no son diferentes significativamente ($p<0.05$), determinado por el test de rango múltiple de Tukey HSD. La línea vertical en la parte superior de cada barra representa el error estándar.

Cuando se realizó el análisis de los incrementos del contenido promedio de proteínas solubles totales en el tejido foliar de plantas de *P. volubilis* "sacha inchi", con respecto al control no inoculado (Fig. 2), se observó variación en el contenido de proteínas solubles totales (Fig. 2), encontrándose diferencias significativas ($p<0.05$) al realizarse la prueba ANOVA. El mayor incremento, fue causado por el tratamiento "NPK 60-90-120 + G. intraradices". En tanto que las plantas tratadas con "La Molina + *G. intraradices*", "NPK 150-90-150", "NPK 150-150-150", y "NPK 150-150-150 + *G. intraradices*", no mostraron incremento con respecto al control no inoculado. Las plantas que recibieron los tratamientos "NPK 60-90-120"; y "NPK 150-90-150 + *G. intraradices*"; presentaron incrementos intermedios entre el mayor y los menores.

Al comparar los incrementos promedio de proteínas solubles totales en el tejido foliar de *P. volubilis* tratadas con diferentes concentraciones NPK y en simbiosis con el "hongo" micorrícico arbuscular *G. intraradices* mediante el test de rango múltiple de Tukey HSD (Fig. 2), se observó incremento significativo en el tratamiento "NPK 60-90-120 + *G. intraradices*". Sin embargo, no se encontraron incrementos significativos en los tratamientos "NPK 150-90-150", "NPK 150-150-150", "La Molina", "NPK 150-150-150 + *G. intraradices*", "La Molina + *G. intraradices*", "NPK 150-90-150 + *G. intraradices*", y "NPK 60-90-120".

Se observaron diferencias entre el incremento del tratamiento "NPK 60-90-120 + *G. intraradices*" y el de los tratamientos, "La Molina + *G. intraradices*", "NPK 150-90-150", "NPK 150-150-150", y "NPK 150-150-150 + *G. intraradices*". Sin embargo, no se observaron diferencias entre los incrementos de los tratamientos "NPK 60-90-120 + *G. intraradices*", "NPK 60-90-120", y "NPK 150-90-150 + *G. intraradices*".

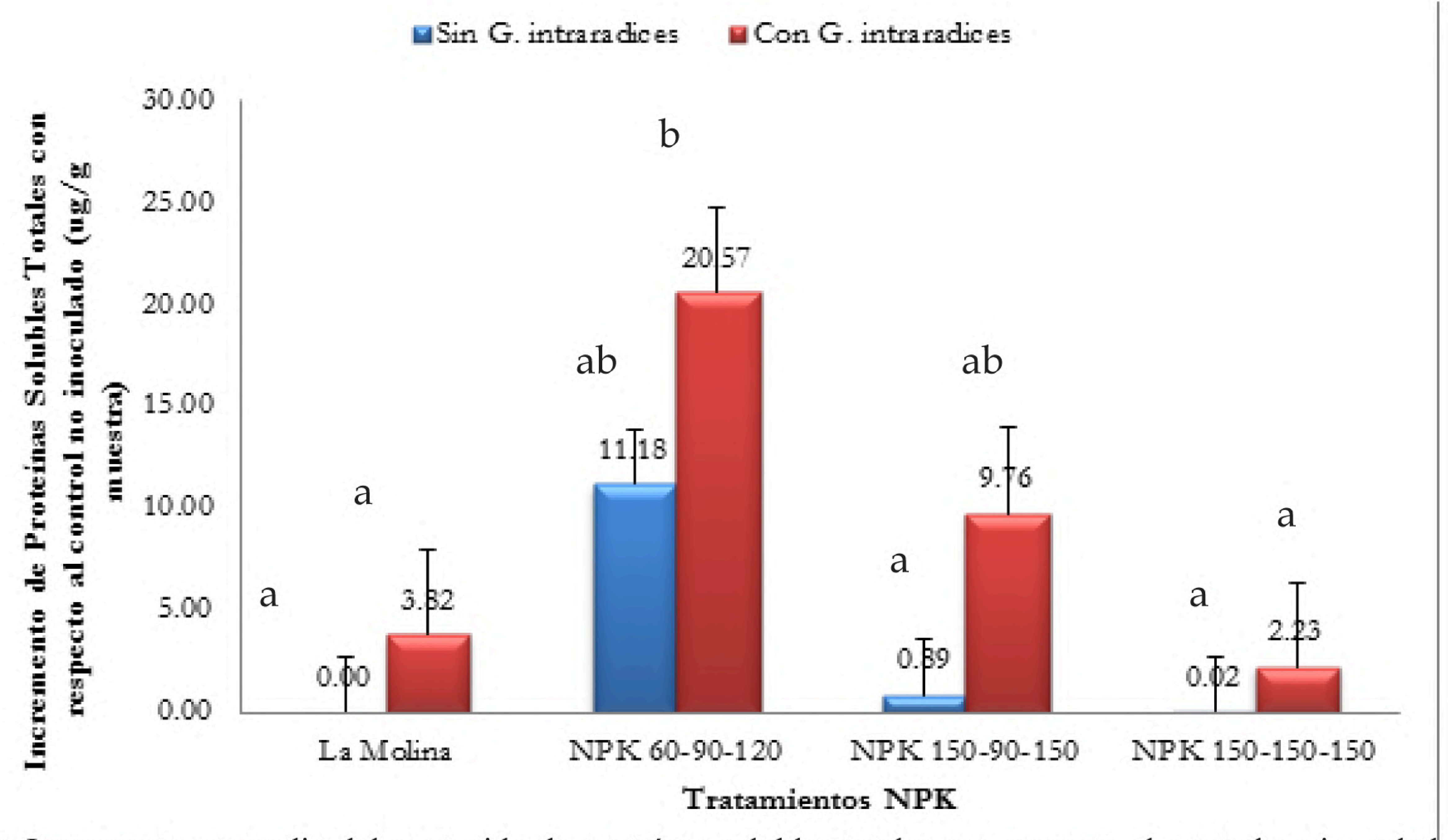


Fig. 2: Incremento promedio del contenido de proteínas solubles totales con respecto al control no inoculado, en el tejido foliar de plantas de *P. volubilis* "sacha inchi" tratadas con diferentes concentraciones NPK e inoculadas con *G. intraradices,* a los 60 días de tratamiento. Los incrementos marcados con la misma letra no son diferentes significativamente ($p<0.05$), determinado por el test de rango múltiple de Tukey HSD. La línea vertical en la parte superior de cada barra representa el error estándar.

Discusión

El uso de "hongos" micorrícicos arbusculares, junto con la fertilización NPK, permite lograr efectos benéficos significativos sobre el contenido de nutrientes de las plantas, su crecimiento vegetativo y su producción (Boucher, 1999; Díaz *et al.*, 2007). El uso adecuado de este binomio, permite establecer sistemas autosostenibles, con reducidas aplicaciones de productos químicos y resultados económicamente rentables (Baar, 2008). Estas observaciones sustentan los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde la cantidad de proteínas solubles totales encontradas en el tejido foliar de *P. volubilis* L. "sacha inchi", fue mayor en el tratamiento "NPK 60-90-120 + *G. intraradices*", que presentó la cantidad NPK más baja junto a la simbiosis con el "hongo". Además, al analizar los incrementos de proteínas solubles encontradas, se observó, que el valor obtenido por este tratamiento estuvo muy por encima del tratamiento control con la solución nutritiva La Molina, a pesar de que concentración NPK de este último tratamiento fue más elevada. Por ello, el empleo de *G. intraradices* junto con una adecuada concentración NPK, se puede constituir en una alternativa efectiva y altamente rentable en el cultivo de *P. volubilis*, al no requerirse ingentes cantidades de fertilizantes para lograr mejores rendimientos.

Muchos investigadores han reportado que las altas concentraciones NPK ejercen un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de los hongos micorrícicos arbusculares (León, 2006; Roveda & Polo, 2007). Es decir, mientras el nivel de NPK aumenta, se inhibe la simbiosis con el hongo, se reduce

la absorción de nutrientes y se disminuye la cantidad de proteínas solubles totales en el tejido foliar. Este comportamiento fue observado en el presente trabajo, en el que los contenidos de proteínas solubles totales más bajos, se encontraron en las plantas que recibieron los tratamientos con valores NPK más elevados ("La Molina" y "NPK 150-150-150"). Por otra parte, se ha demostrado que las plantas pobremente fertilizadas y en simbiosis con *Glomus* sp., presentan mejor desarrollo, debido a que el crecimiento del "hongo" se favorece en presencia de niveles bajos de nutrientes, especialmente fósforo (Purakayastha, 2001; Govindarajulu *et al.*, 2005). Este comportamiento, también fue observado en el presente estudio, en el que la concentración de nutrientes más baja ("NPK 60-90-120") indujo resultados más elevados e incrementos significativos, en presencia del "hongo" micorrícico arbuscular.

La fertilización con NPK, produce cambios en los rendimientos de cultivos agrícolas y en el desarrollo de plantas ornamentales (Finck, 1988). Además, se ha demostrado que esta fertilización es capaz de inducir variación en la cantidad de proteínas solubles totales en el tejido foliar de plantas como *Physalis peruviana* L (Gonzales, 2009). Estas observaciones, contrastan con los resultados encontrados en el presente trabajo, en el que no se observaron diferencias significativas cuando fueron comparadas las plantas de acuerdo a las concentraciones NPK recibidas, probablemente debido a que las concentraciones no fueron efectivas para la etapa de crecimiento de *P. volubilis.* Los mayores resultados y los más altos incrementos, sin diferencias significativas, se obtuvieron con el tratamiento "NPK 60-90-120", que tuvo la menor cantidad NPK. De igual manera, estos resultados contrastan con lo encontrado por Ospina & Ceballos (2002) quienes mencionan que cuando hay elevadas dosis de N, P y K, se observa aumento en follaje y mayor desarrollo radicular; mientras que cuando hay deficiencias de estos elementos, se observan fenómenos como enanismo, debilidad en el tallo, retraso en el crecimiento por pérdida de la turgencia, y mayor sensibilidad a patógenos.

El hecho de que no se haya registrado variación significativa en el contenido foliar de proteínas solubles totales de *P. volubilis*, puede ser atribuido a que esta planta presenta un desarrollo heterogéneo, no habiéndose establecido variedades vegetales que presenten un crecimiento sincronizado (Arévalo, 1999). Sin embargo, la tendencia de aumento que se muestra cuando se utilizaron las concentraciones más reducidas de NPK se debería a que esta planta es poco exigente nutricionalmente. Así, lo demuestra el trabajo de Arévalo (1999), quien menciona que esta especie puede crecer normalmente en diferentes tipos de suelos, incluso, en aquellos con una fertilización muy baja, con 75 g úrea, 45 g cloruro de potasio y 45 g superfosfato triple de calcio. Además, otras investigaciones como la de Espinoza *et al.* (2009) concluyen que dosis bajas de NPK (50-25-50), son óptimas para lograr el mejor crecimiento de *P. volubilis*, en condiciones de invernadero. Por otra parte, los trabajos mencionados mostraron que las dosis NPK más elevadas no tienen efecto sobre el crecimiento de esta Euphorbiaceae. Esta situación se observó en el presente trabajo, en el que las concentraciones NPK dadas por los tratamientos "La Molina" y "NPK 150-150-150", presentaron los menores valores promedio de proteínas solubles totales.

La simbiosis con "hongos" micorrícos arbusculares, origina variaciones en el crecimiento de diversas plantas. Estos

organismos absorben los nutrientes del suelo y los intercambian con las plantas por carbón fotosintéticamente fijado, permitiendo mejor desarrollo en las plantas (Purakayastha, 2001; Govindarajulu *et al.*, 2005). Además, se ha encontrado que la simbiosis de estos hongos induce aumentos en la síntesis de metabolitos como proteínas (Roveda, 2007), además de otros beneficios. Estas observaciones contrastan con los resultados del presente estudio, donde no se observaron incrementos significativos en el contenido de proteínas solubles totales en relación a la aplicación de *G. intraradices,* cuando se aplicaron las mismas dosis NPK. Ello demostraría que la aplicación de este hongo no es eficiente por sí sola para incrementar la cantidad de proteínas solubles totales, requiriendo de una concentración NPK adecuada, con valores bajos de fósforo para poder tener efecto en *P. volubilis*.

El mecanismo mediante el cual los "hongos" micorrícicos arbusculares provocan estos efectos, está basado en el establecimiento de una relación simbiótica. En esta simbiosis, los hongos colonizan los sistemas radiculares de las plantas, para modular el crecimiento de estas, mejorando la disponibilidad de nutrientes, principalmente fósforo (Karandashov & Bucher, 2005). Las vías por las que estos organismos fúngicos toman los nutrientes y lo transfieren a las planta, han sido estudiadas por diversos investigadores. Govindarajulu *et al.* (2005), quienes demostraron que el hongo incorpora el nitrógeno en diferentes aminoácidos y luego los trasloca desde el micelio extraradicular hacia el intraradicular en forma de arginina. Por su parte, Cox *et al.* (1980) demostraron que el fósforo es traslocado en forma de gránulos de polifosfato, a través de corrientes citoplasmáticas, lo que hace que este elemento se encuentre altamente disponible para la planta

Los resultados de esta investigación indican que, tanto la fertilización NPK, como la aplicación de HMA, podrían ser los dos pilares más importantes para lograr un mejor desarrollo vegetativo, con altas cantidades de metabolitos en diversas plantas (Blanco & Salas, 1997), entre las cuales según los resultados obtenidos, se encontraría *P. volubilis* "sacha inchi".

Conclusiones

Las concentraciones NPK 150-90-150; 150-150-150; y 190-35-210, y la interacción simbiótica con *Glomus intraradices* Schenck & Smith ocasionan variación en el contenido de proteínas solubles totales en el tejido foliar de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi", a los 60 días de tratamiento.

La concentración NPK 60-90-120, induce mayor contenido de proteínas solubles totales en el tejido foliar de plantas de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi", en interacción simbiótica con *Glomus intraradices* Schenck & Smith.

Las concentraciones NPK 150-90-150; 150-150-150; y 190-35-210, no inducen cambios significativos en el contenido foliar de proteínas solubles totales en plantas de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi" inoculadas o no con *Glomus intraradices* Schenck & Smith.

Agradecimientos

Al Mblgo. José Peredo Arias, Jefe del Laboratorio de Biotecnología del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC, quien donó las semillas producidas en el campo experimental a su cargo. A la Dra. Adriana Hernández Dorrego, Jefa del Laboratorio de Producción de la empresa Agrotecnologias Naturales Sociedad Limitada – Madrid,

España, quien facilitó las esporas de *Glomus intraradices* a través del producto comercial AEGIS Endo Gránulo.

A Ramiro Ortega Dueñas, por su ayuda en las traducciones.

Literatura citada

Al-Karaki, G.; B. McMichael & J. Zak. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza 14 (4): 263-269.

Arévalo, G. 1999. El Cultivo de "Sacha Inchi" (*Plukenetia volubilis* L.) en la Amazonía. Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología – PRONARGEB. Estación Experimental El Porvenir. Tarapoto.

Baar, J. 2008. From Production to Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agricultural Systems: Requirements and Needs. Mycorrhiza 4 (1): 361-373.

Blanco, A. & E. Salas. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. Agronomía Costarricense 21 (1): 55-67.

Boucher, A.; Y. Dalp & C. Charest. 1999. Effect of arbuscular mycorrhizal colonization of four species of *Glomus* on physiological responses of maize. Journal of Plant Nutrition 22 (4-5): 783-797.

Bradford, M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. Analytical Biochemistry 1 (72): 248-254.

Cardoso, M. & T. W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility Agriculture, Ecosystems and Environment 116 (1): 72-84.

Clement, R. & M. Habte. 1995. Genotypic variation in vesicular-arbuscular mycorrhizal dependence of the Pejibaye palm. Journal of Plant Nutrition 18 (9): 1907-1916.

Cox, G.; K. J. Moran; F. Sanders; C. Nockolds & P. B. Tinker. 1980. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. Iii. Polyphosphate granules and phosphorus translocation. New Phytologist 84 (4): 649 – 659.

Díaz, R.; A. Díaz; I. Garza & A. Ramírez De León. 2007. Brassinoesteroides e inoculación con *Glomus intraradices* en el crecimiento y la producción de "sorgo" en campo. TERRA Latinoamericana 25 (1): 77-83.

Ekanayake, J.; J. Oyetunji; O. Osonubi & O. Lyasse. 2004. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and water stress on leaf chlorophyll production of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) International Journal of Food, Agriculture and Environment 2 (2): 190-196.

Espinoza, J.; J. Castro & R. Guillén. 2009. Crecimiento de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi" cultivado en condiciones de invernadero. Arnaldoa 16 (1): 53-59.

Finck, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverte, México. 1º Ed. 439 pp.

Gonzales, C. I. 2009. Efecto de diferentes concentraciones NPK sobre el contenido de proteínas solubles totales en *Physalis peruviana* L. Tesis Biología. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

Govindarajulu, M.; P. Pfeffer; J. Hairu; J. Abubaker; D. Douds; J. Allen; H. Bücking; P. Lammers & Y. Shachar-Hill. 2005. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal simbiosis. Nature 435 (7043): 819-823.

Karandashov, V. & M. Bucher. 2005 Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. TRENDS in Plant Science 10 (1): 22-29.

León, D. 2006. Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a "yuca" (*Manihot esculenta*) en dos regiones de la amazonia colombiana. Tesis de Microbiología agrícola y veterinaria. Facultad de Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.

Llonín, D. & N. Medina. 2002. Nutrición mineral con N, P y K en la simbiosis hongos micorrizógenos-tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en Ferralsols. Cultivos Tropicales Bogotá 23 (4): 83-88.

Medina, N.; R. Morejón; F. Cuevas & G. Díaz. 2000. Efecto de la biofertilización con hongos micorrizógenos (MA) en el cultivo del "tomate". Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas Revista Avances de La Habana 2 (4): ISSN 1562-3297.

Mohammad, A.; B. Mitrab & A. G. Khana. 2004. Effects of sheared-root inoculum of *Glomus intraradices* on wheat grown at different phosphorus levels in the field. Agriculture, Ecosystems & Environment 103 (1): 245-249.

Mosse, B. 1963. Vesicular-arbuscular mycorrhiza: an extreme form of fungal adaptation. In: Nutman PS, Mosse B (eds) Symbiotic associations. Thirteenth symposium of the Society for General Microbiology. Cambridge University Press, Cambridge. 1st Ed.

356 pp.

Novoa, D.; S. Palma & H. Gaete. 2010. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus* spp. inoculation on alfalfa growth in soils with copper. CHILEAN JAR 70 (2): 259-265.

Ospina, B. & H. Ceballos. 2002. La "yuca" en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Editorial Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia. 1° Ed. 586 pp.

Purakayastha, J. & P. K. Chhonkar. 2005. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus etunicatum* L.) on mobilization of zinc in wetland rice (*Oriza sativa* L.). Biol Fertil Soils. 33 (4): 323-327.

Roveda, G. & C. Polo. 2007. Mecanismos de adaptación de "maíz" asociado a *Glomus* spp. en suelos con bajo fósforo disponible. Agronomía Colombiana 25 (2): 349-356.

Verdejo, S.; C. Calvet & J. Pinochet. 1990. Efecto de la Micorrización en "Kiwi" infestado por los Nematodos *Meloidogyne hapla* y *M. javanica*. Bol. San. Veg. Plagas 1 (16): 619-624.

Villegas, I. 2009. Adaptación y producción de "sacha inchi", *Plukenetia volubilis* L. en el sector San José-Virú, La Libertad. Tesis Ingeniería Agrónoma. Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

ANEXOS

I. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1.1. Análisis Estadístico de Proteínas Solubles Totales según Tratamientos NPK y *Glomus intraradices*

a) Resumen Estadístico para Proteínas Solubles Totales

Tratamientos	Frecuencia	Media	Varianza	Error estándar
La Molina	3	44.8472	6.09203	1.74528
La Molina+G. intrarad	3	48.6662	3.90132	1.39666
NPK 150-150-150	3	44.866	0.413535	0.454717
NPK 150-150-150+G. I	3	47.0737	0.426051	0.461547
NPK 150-90-150	2	45.7339	0.00347912	0.0417081
NPK 150-90-150+G. in	2	54.6081	4.26962	1.4611
NPK 60-90-120	3	56.0269	0.178306	0.298585
NPK 60-90-120+G. int	3	65.4214	171.085	9.24893
Total	22	50.9054	61.7942	1.96523

b) Tabla ANOVA para Proteínas Solubles Totales según Tratamientos

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	740.543	7	105.792	4.54	0.0248
Intra grupos	186.37	8	23.2962		
Total (Corr.)	926.913	15			

c) Contraste Múltiple de Rango HSD de Tukey (95%) para Proteínas Solubles Totales según Tratamientos

Tratamientos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
La Molina	3	44.8472	X
NPK 150-150-150	3	44.866	X
NPK 150-90-150	2	45.7339	X
NPK 150-150-150	3	47.0737	XX
La Molina+G. int	3	48.6662	XX
NPK 150-90-150+	2	54.6081	XX
NPK 60-90-120	3	56.0269	XX
NPK 60-90-120+G.	3	65.4214	X

1.2. Análisis Estadístico del Incremento de Proteínas Solubles Totales según Tratamientos NPK y *Glomus intraradices*

a) Resumen Estadístico para Incremento de PST

Tratamiento	Frecuencia	Media	Varianza	Error estándar
La Molina	3	0.0	0.0	0.0
La Molina+G. intrara	3	3.81906	0.243076	0.348623
NPK 150-150-150	3	0.0188679	3.33112	1.29057
NPK 150-150-150+G. i	3	2.22654	3.29596	1.28374
NPK 150-90-150	2	0.886693	5.80434	1.70357
NPK 150-90-150+G. in	2	9.76091	0.161521	0.284184
NPK 60-90-120	3	11.1797	4.18587	1.4467
NPK 60-90-120+G. int	3	20.5743	112.609	7.50365
Total	24	6.05826	58.0116	1.90413

b) Tabla ANOVA para Incremento de PST según Tratamiento

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	740.543	7	105.792	6.53	0.0084
Intra grupos	129.631	8	16.2039		
Total (Corr.)	870.174	15			

c) Contraste Múltiple de Rango HSD de Tukey (95%) para Incremento de PST según Tratamiento

Tratamiento	Frec.	Media	Grupos homogéneos
La Molina	2	0.0	X
NPK 150-150-150	2	0.0188679	X
NPK 150-90-150	2	0.886693	X
NPK 150-150-150	2	2.22654	X
La Molina+G. in	2	3.81906	X
NPK 150-90-150+	2	9.76091	XX
NPK 60-90-120	2	11.1797	XX

II. FOTOS

Plántulas de *Plukenetia volubilis* a los 45 días de haber recibido los tratamientos.

